

<https://doi.org/10.24867/JPE-1993-10-035>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

*Gatalo, R., Komarica, N., Zeljković, M., Borojev, L.J., Novaković, D., Kovačević, S.*

## PRILOG ANALIZI I RAZVOJU SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANI PRORAČUN VITALNIH ELEMENATA MAŠINA

### A CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS AND DEVELOPING OF THE SYSTEM FOR THE AUTOMATIC CALCULATING OF THE VITAL MACHINE ELEMENTS

#### Summary

*In the paper the original researching results in the area of the machine tool vital elements calculating are given. These researching are realized in the Laboratory for Machine Tools of the Institute for Production Engineering of Novi Sad.*

*In the first part of the paper an attempt was made to systematize the existing methods of analysis and calculating for typical machine elements and the targets which are realized by this methods. For this systematization the grafical plane and space reviews also are given. For the previous results of the methods and targets the characteristics some of the typical software packages and systems for automatic calculating and analysis are systematized.*

*In the second part of the paper some developing results of the software systems for automatic calculating and analysis, which are developed in the Laboratory for Machine Tools, are given. These systems are: SAPOR-P - system for automatic modeling and caculating of the axial structures, NOSEL - system for automatic design and analysis of the prismatic carrying elements, ZUPCAN - system for automatic gear design and RADHIL - system for automatic calculating and analysis of the hydrostatic bearings behavior. For all of these systems the concept, the solution of the processor and some output results also are given.*

- 
- \*) Gatalo dr Ratko, dipl.ing.,redovni profesor, Komarica dr Novko,dipl.ing.,vanredni profesor, Zeljković mr Milan,dipl.ing.,asistent, Borojev mr Ljubomir,dipl.ing.,asistent,Novaković Dragoljub,dipl.ing.,stručni saradnik, Mašinski fakultet, Novi Sad, V. Perića Valtera br. 2
- \*\*\*) Kovačević mr Sava,dipl.ing.,predavač, Viša tehnička škola,Novi Sad, Školska 2

**Rezime:**

*U radu se izlažu originalni rezultati istraživanja u području proračuna vitalnih elemenata mašina alatki koja su realizovana u okviru Laboratorije za mašine alatke Instituta za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu.*

*U prvom delu rada učinjen je pokušaj da se što detaljnije sistematizuju prisutne metode analize i proračuna karakterističnih elemenata mašina, i ciljeva koji se realizuju tim metodama. Učinjen je pokušaj da se uradjena sistematizacija prikaže grafički u ravni i u prostoru. Za prethodne rezultate analize metoda i ciljeva sistematizovan je položaj i karakteristike nekih od najčešće prisutnih programskih sistema i paketa za automatizovani proračun i analizu.*

*U drugom delu rada izloženi su određeni rezultati u razvoju programskih paketa i sistema za automatizovani proračun i analizu, koji su razvijeni u okviru Laboratorije za mašine alatke. Radi se o sistemima: SAPOR-P za modeliranje i proračun aksijalnih struktura, NOSEL - za proračun i analizu prizmatičnih nosećih elemenata, ZUPCAN - za projektovanje zupčanika i RADHIL-za proračun i analizu ponašanja hidrostatičkog uležištenja. Za navedene sisteme i pakete dat je prikaz konceptijskog rešenja i rešenja procesora (računarskog programa) kao i određeni primeri izlaznih rezultata dobijenih pri korišćenju određenog sistema ili paketa.*

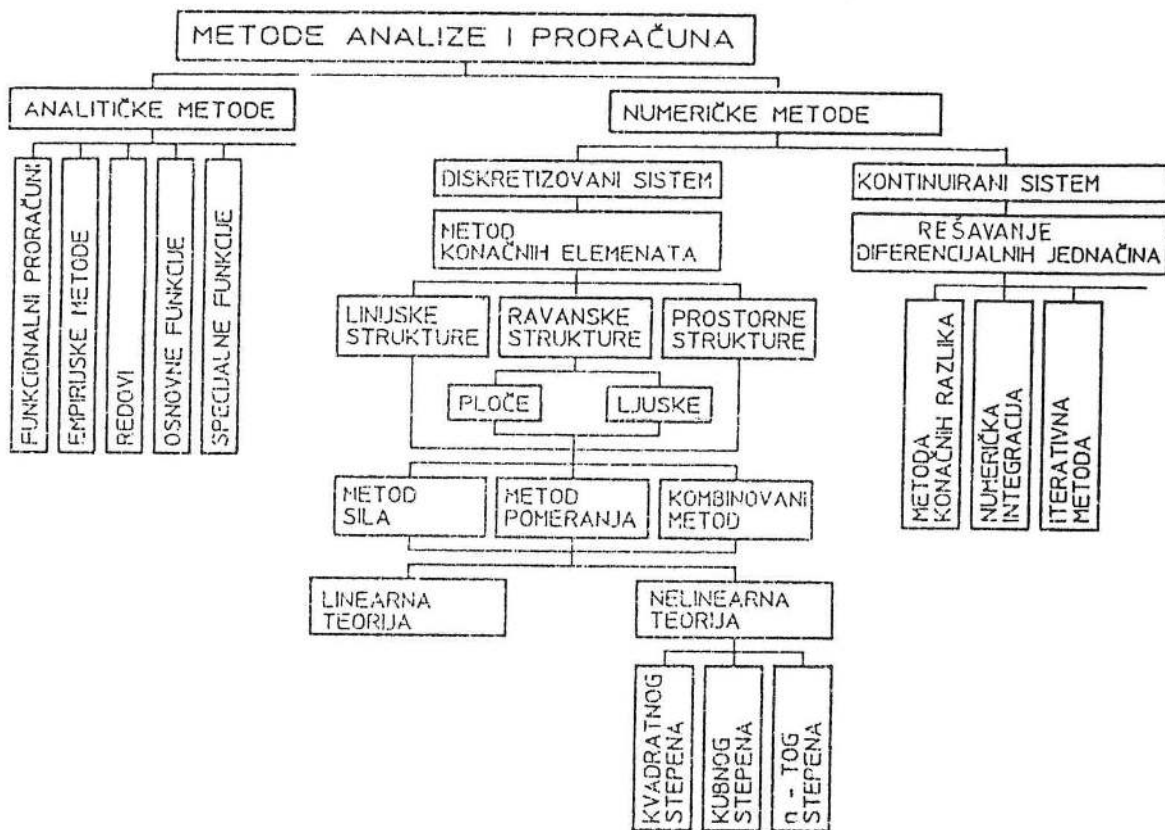
## **1.0 UVODNE NAPOMENE**

Razvoj računarske tehnike je doveo do razvoja proračunskih i konstrukcionih rešenja u svim segmentima tehnike pa i u oblasti mašina alatki. Tako je razvoj savremenih mašina alatki, pored povećanja nivoa automatizacije, nametnuo potrebu da se i u oblast proračuna i konstrukcije uvedu novi principi i metode. Sve više se za analizu uticaja opterećenja, statičkog, dinamičkog i termičkog ponašanja nosećih i prenosnih elemenata mehaničke strukture primenjuju egzaktne metode proračuna. Savremene numeričke metode, metod konačnih elemenata (MKE) i metod konačnih razlika (MKR) u tome daju punu podršku, pogotovu kod proračuna gde komplikovanost matematičkog aparata otežava, a često i onemogućava primenu analitičkih metoda. Pored prethodnog, primena ovih metoda je omogućila da se pored konvencionalnih razviju i metode automatizovanog projektovanja.

Obzirom na prisustvo višegodišnjeg istraživanja i brojnih rezultata u ovoj oblasti u okviru Laboratorije za mašine alatke Instituta za proizvodno mašinstvo, kroz ovaj rad se želi izvršiti sistematizacija metoda analize i proračuna i prikazati određeni rezultati ostvareni u okviru Instituta u prethodnom periodu.

## **2.0 OPŠTI PRILAZ SISTEMATIZACIJI METODA ANALIZE I PRORAČUNA ELEMENATA MAŠINA I AUTOMATIZACIJE NJIHOVOG PRORAČUNA**

Složen geometrijski oblik, kao i složenost opterećenja nosećih i prenosnih elemenata mašina alatki uslovljava i složenost njihove analize i proračuna. U tu svrhu na raspolaganju su dve grupe metoda čija je osnovna podela na ANALITIČKE i NUMERIČKE. One su se, a naročito numeričke metode razvijale u više pravaca, čija je sistematizacija data na slici 1.



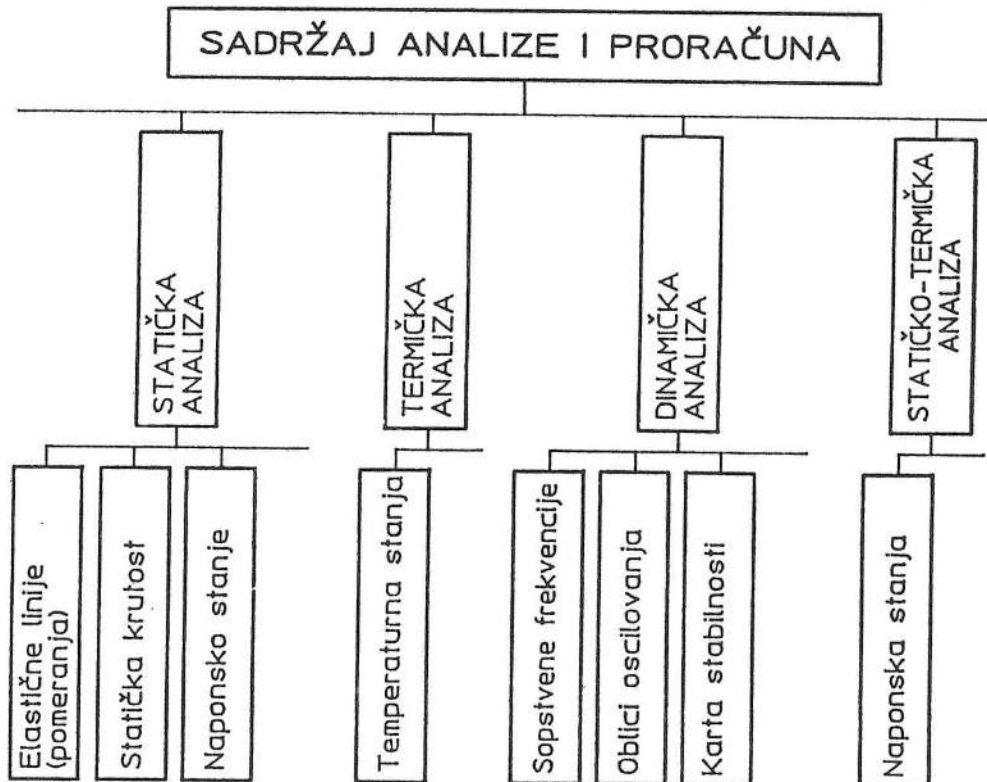
Sl. 1 Metode analize i proračuna nosećih i prenosnih struktura i drugih vitalnih elemenata mašina alatki

Fig.1 Analysis and calculating methods for supporting and carrying structures and others vital elements of machine tools

Na osnovu slike se može zaključiti da se primena analitičkih metoda kod vitalnih elemenata mašina alatki svodi na proračune primenom empirije i raznih oblika funkcija. Pri čemu se mora napomenuti da je njihova primenu u najvećoj meri ograničena obzirom na složenost oblika elemenata. Numeričke metode dominiraju kod analize ovih elemenata. Njihova primena je moguća kako za diskretizovan sistem (MKE) tako i za kontinualan (MKR, numerička integracija, ...). Sem toga, sa slike se može zaključiti da je primena metoda konačnih elemenata široko primenljiva, kako za najprostije linijske strukture tako i za složene prostorne strukture, uz primenu metoda sile, metoda pomeranja ili kombinovanog metoda. Uz sve to je moguće primeniti kako linearne tako i nelinearne teorije, a ove poslednje mogu biti različitog stepena nelinearnosti. Obuhvatnost analize i proračuna je vidljiva na slici 2., gde je istaknuta vrsta analize (statička, termička, dinamička i statičko-termička) i u okviru njih vrsta proračuna, odnosno cilj analize.

Kod mašina alatki, a slično je i kod drugih mašinskih konstrukcija prisutni su određeni vitalni elementi bez čijeg proračuna i analize ponašanja u fazi projektovanja ne može se zamisliti savremeni razvoj proizvoda. Takvi elementi - delovi mogu se svrstati u noseće strukture ili u prenosne strukture. U prvom slučaju radi se o postoljima, stubovima, kućištima i sl., a u drugom o zupčanicima, remenicama, spojnicama, vratilima, ležištima i sl. Za navedene elemente bilo da oni pripadaju grupi nosećih ili prenosnih struktura učinjen je pokušaj da se sistematizuju ključne metode analize i proračuna kao i vrste analize koje su interesantne

u konkretnom slučaju svake strukture - elementa. Navedena sistematizacija prikazana je na slici 3a (ravanski prikaz kroz dve projekcije) i slici 3b (prostorni prikaz).

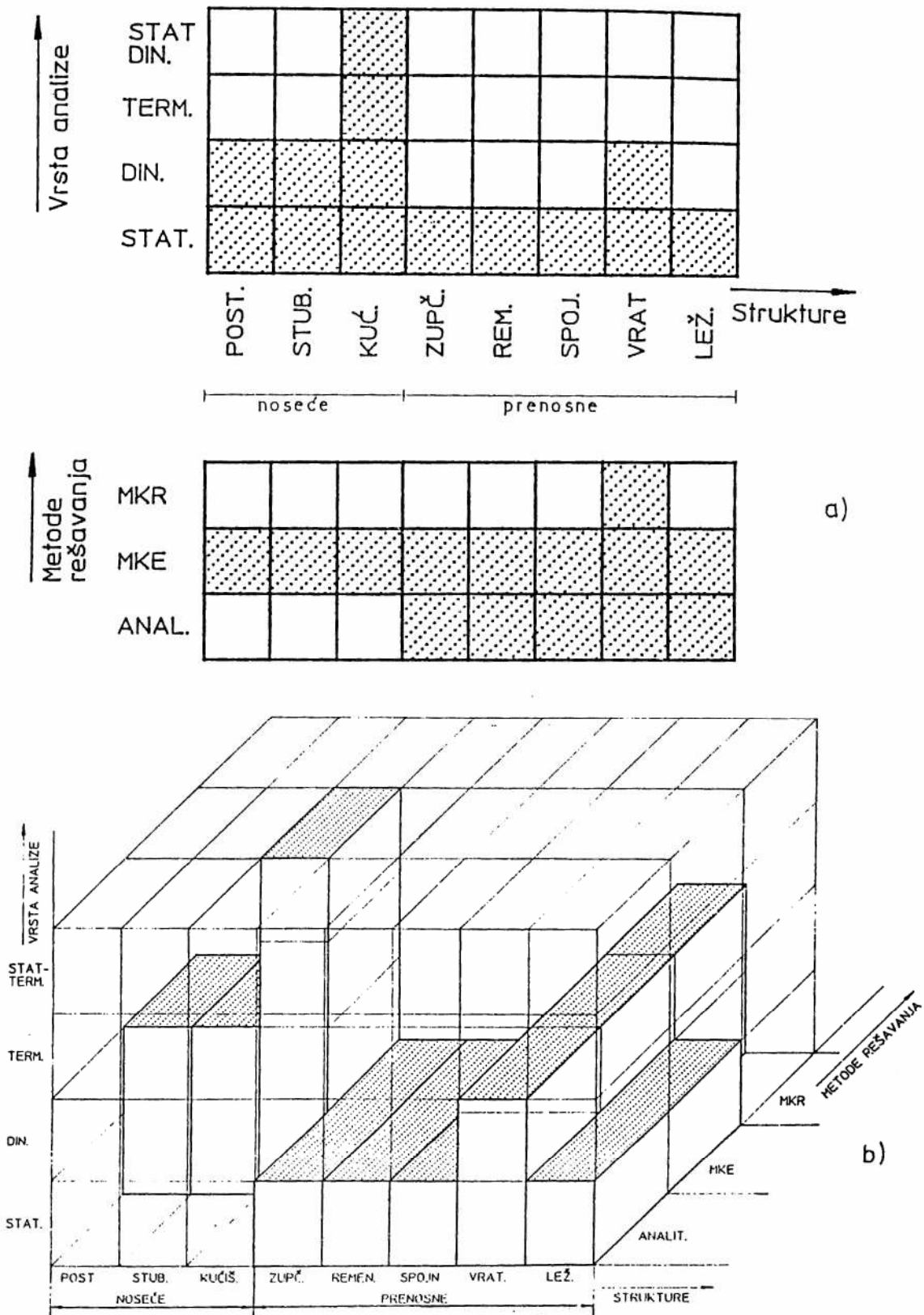


Sl. 2 Sadržaj analize i proračuna elemenata mašina alatki

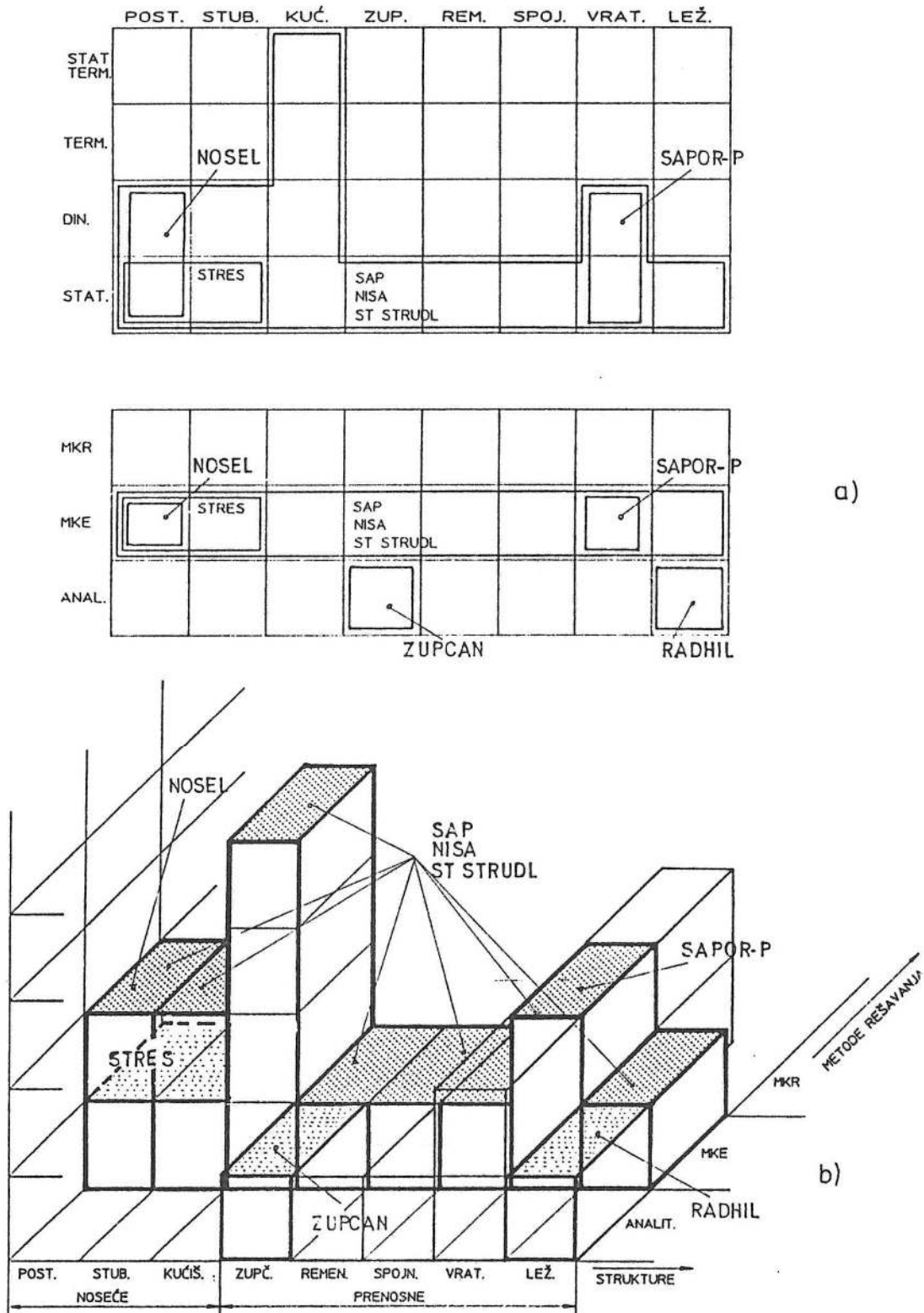
Fig.2 Contents of the analysis and calculating of machine tool elements

U svetu je razvijen niz programskih paketa i sistema za analizu i proračun uz primenu računara, odnosno sistema za automatizovani proračun i analizu. Sa jedne strane oni su razvijeni za univerzalnu namenu, a sa druge su ograničene primene, odnosno specijalizovani. I jedni i drugi koriste određene metode rešavanja i omogućuju jednu ili više vrsta analize (statičku, dinamičku, ...). U principu složenost geometrijskog oblika i opterećenja pojedinih elemenata - struktura uslovljava izbor određenog programskog paketa i sistema.

Za neke od najčešće prisutnih programskih paketa i sistema za automatizovani proračun i analizu na slici 4 a i b je dat prikaz položaja i mogućnosti tih sistema u odnosu na vrstu elementa-strukture, metode rešavanja i vrste analize. Kao osnova za navedeni prikaz korišćeni su prikazi sa slike 3. Napominje se da su na slici 4 takodje prikazane mogućnosti i programskih paketa razvijenih na Institutu za proizvodno mašinstvo o kojima će biti reči u narednom poglavlju. Kao i kod prikaza na slikama 1, 2 i 3 tako je i u prikazu na slici 4 ostavljena mogućnost daljne dogradnje u pogledu vrste elementa- strukture, metoda rešavanja i vrste analize, radi potpunjavanja celovitosti opšteg prilaza sistematizovanju metoda analize i proračuna sa jedne strane i razvijenih programskih paketa i sistema za automatizovani proračun i analizu sa druge strane.



Sl.3 Vrste analize i najčešće metode rešavanja za različite noseće i prenosne strukture - elemente - a) ravanski - prikaz - b) prostorni prikaz  
 Fig.3 Type of the analysis and most frequently solving methods for different supporting and carrying structures - elements - a) plane review - b) space review



Sl. 4 Mogućnosti karakterističnih programskih paketa i sistema za analizu i proračun - a) ravanski prikaz -b) prostorni prikaz  
 Fig.4 Possibilities of the typical software packages and systems for analysis and calculating - a) plane review - b) space review

### 3.0 SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANI PRORAČUN I ANALIZU RAZVIJENI NA INSTITUTU ZA PROIZVODNO MASINSTVO

#### 3.1 Programski sistem za automatizovano modeliranje i proračun aksijalnih struktura - SAPOR-P [3],[4]

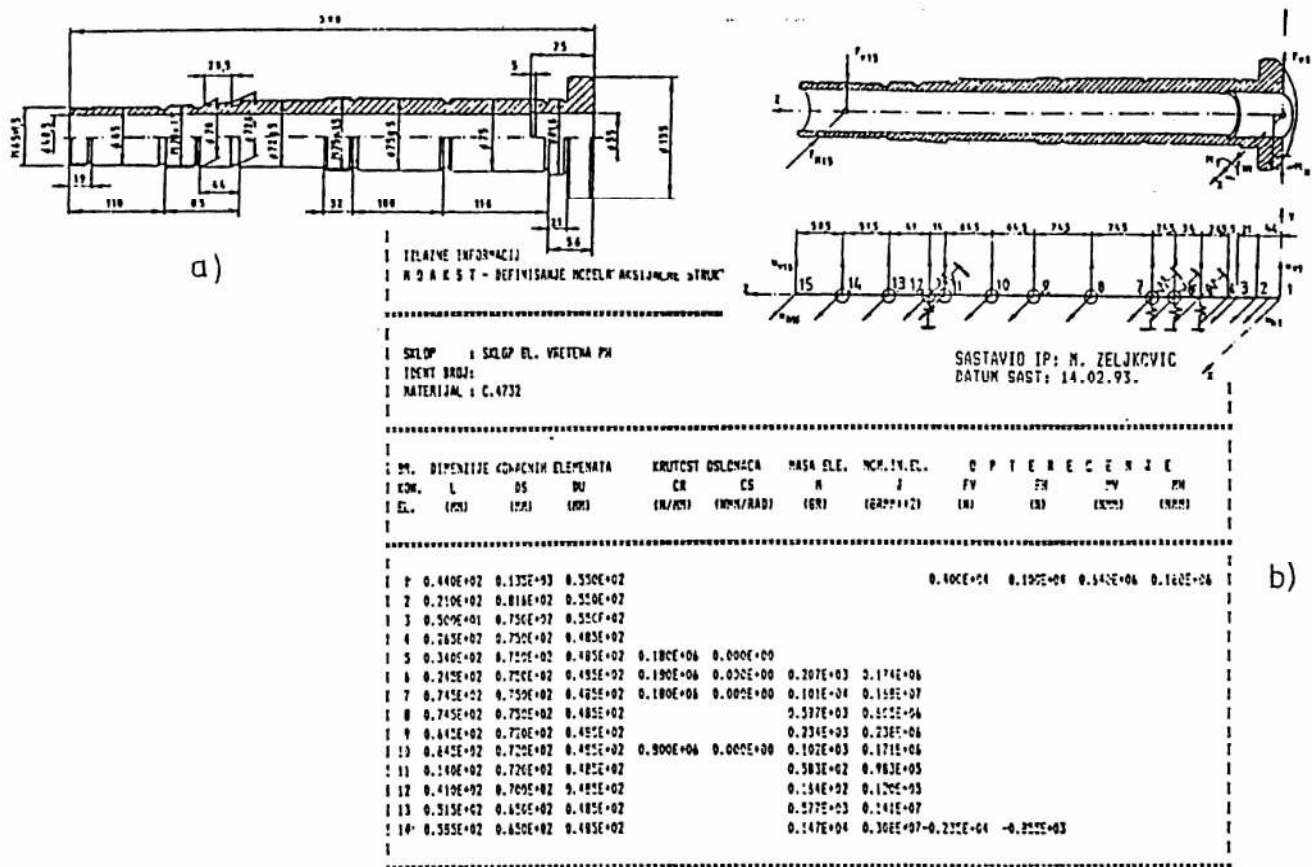
Programski sistem je namenjen za proračun i analizu aksijalnih struktura. Tipični predstavnici aksijalnih struktura u mašinama alatkama su glavna vretena, vratila, osovine i slično.

Procesor sistema je gradjen na modularnom principu i obuhvata sledeće module: ANG editor, PREVOD, TEHCRT, MOAKST, VRETEN i GRAF. ANG editor predstavlja generator izvornog programa u SAPOR jeziku. Korišćenjem ovog programa sastavlja se izvorni program aksijalne strukture za koju se želi izvršiti proračun. Modul PREVOD služi za otkrivanje grubih logičkih grešaka u izvornom programu elementa, a posle njegovog otkrivanja te ispravljanja od strane projektanta, za prevodjenje izvornih informacija na interni kod računara i zatim njihovo sortiranje u odgovarajućoj operativnoj datoteci. Modul TEHCRT služi za definisanje računarskog ravanskog modela dela po iterativnom postupku utičnjavanja konture bočne projekcije dela. Modul MOAKST služi za automatsko definisanje proračunskog modela aksijalne strukture, kroz formiranje mreže konačnih elemenata oblika grede i odgovarajuće vrednosti krutosti oslonaca i spoljnog opterećenja. Modul VRETEN služi za identifikaciju statičkog i dinamičkog ponašanja aksijalne strukture. Pri tome se pod statičkom identifikacijom podrazumeva određivanje linijskih i uglovnih pomeranja čvorova aksijalne strukture pod dejstvom spoljnog opterećenja, a pod dinamičkom, određivanje sopstvenih frekvencija i sopstvenih vektora (glavnih oblika oscilovanja) slobodnih neprigušenih oscilacija. Za identifikaciju statičkog ponašanja koristi se metod konačnih elemenata, a dinamičkog metod koncentrisanih masa. Modul GRAF ima zadatak predstavljanja rezultata proračuna u grafičkom obliku. Modul omogućava iscrtavanje aksijalne strukture diskretizovane konačnim elementima sa elastičnim osloncima i iscrtavanje rezultata proračuna u vidu elastičnih linija i glavnih oblika oscilovanja, pri čemu se može birati broj krivih koji se želi nacrtati na jednom crtežu.

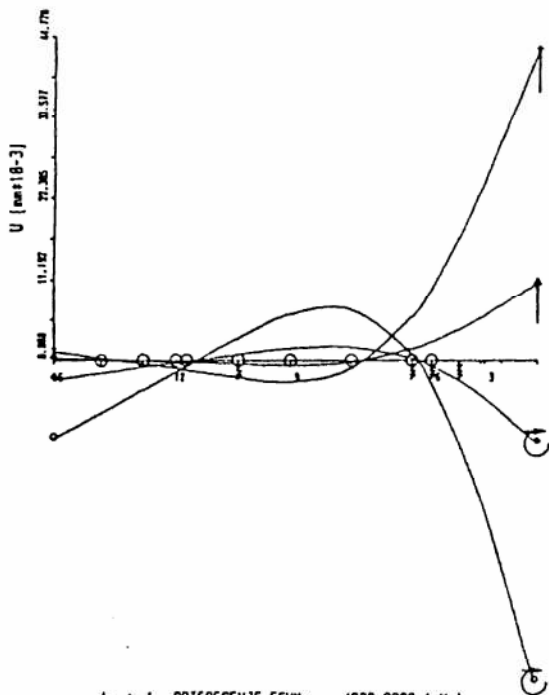
Primena ovog sistema prikazana je na primeru sklopa glavnog vretena. Za prikazano glavno vreteno (sl. 5a) na slici 5b su prikazani rezultati iz modula za automatsko definisanje proračunskog modela (modul MOAKST), dok je grafička interpretacija rezultata statičke i dinamičke identifikacije sklopa glavnog vretena prikazana na slici 5c.

#### 3.2 Programski paket za automatizovani proračun i analizu prizmatičnih nosećih elemenata mašina alatki - NOSEL [5],[6]

Programski paket je namenjen za analizu statičkog i dinamičkog ponašanja nosećih elemenata u obliku postolja. Čine ga tri celine. **Prva celina** je vezana za analizu oblika i opterećenja, definisanje mreže konačnih elemenata i sastavljanje liste ulaznih podataka korišćenjem odgovarajućih pravila. Podaci sa liste se unose u odgovarajuću datoteku ULAZ. Posebno se napominje da je u svrhu analize obezbedjeno interaktivno menjanje dimenzija poprečnog preseka razmatranog postolja. Na slici 6 prikazan je proračunski model postolja. **Drugu celinu** čine računarski

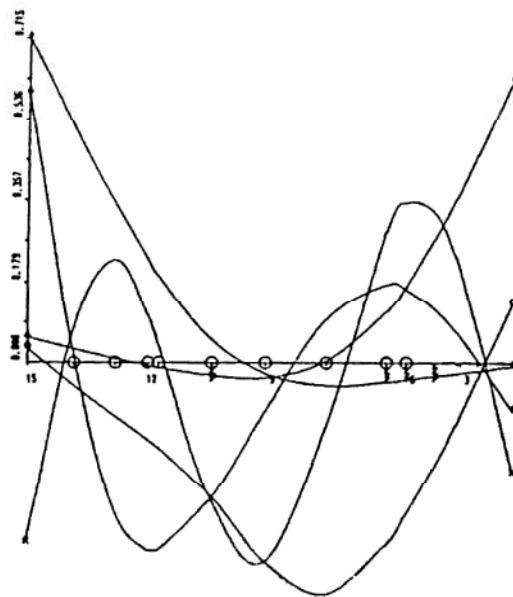


IZLAZNI REZULTATI IZ MODULA: GRAF  
 STATICKI PRORACUN  
 OBLICI ELASTICNIH LINIJA



- + : 1 OPTEREĆENJE FSUM: 4800.0000 ( N )
- Δ : 1 OPTEREĆENJE FSUM: 1800.0000 ( N )
- : 1 OPTEREĆENJE MSUM: 640000.0000 ( N\*MM )
- ◇ : 1 OPTEREĆENJE MSUM: 160000.0000 ( N\*MM )

IZLAZNI REZULTATI IZ MODULA: GRAF  
 DINAMICKI PRORACUN  
 GLAVNI OBLICI OSCILOVANJA

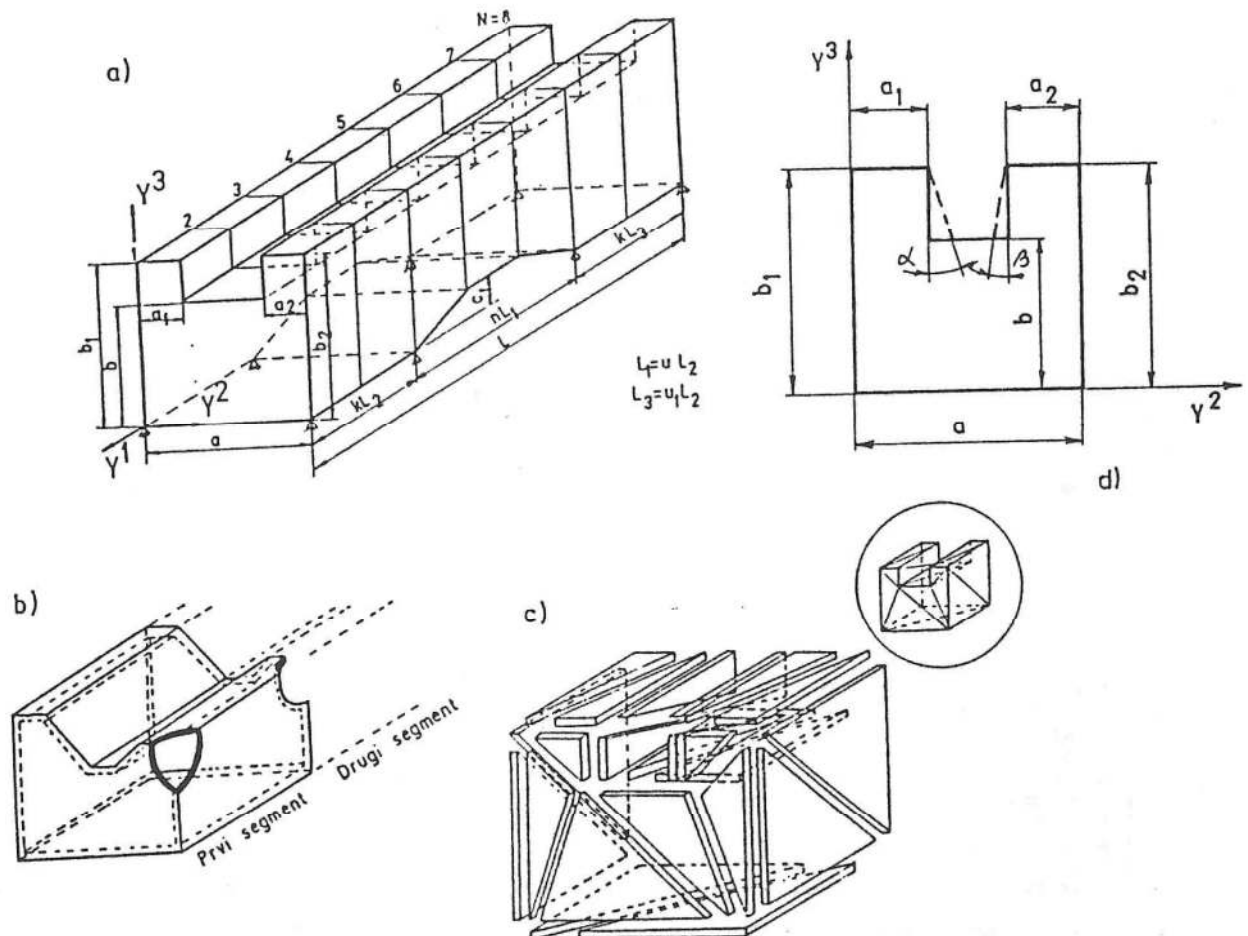


- + FREKVENCIJA OMEGA: 551.8440 ( HZ )
- Δ FREKVENCIJA OMEGA: 792.9820 ( HZ )
- FREKVENCIJA OMEGA: 1676.4900 ( HZ )
- ◇ FREKVENCIJA OMEGA: 2564.5300 ( HZ )
- × FREKVENCIJA OMEGA: 3973.4300 ( HZ )

Sl. 5 Primeri izlaznih rezultata iz programskog sistema SAPOR-P  
 Fig.5 Example of output results from the SAPOR-P software package



programi STATIKA i DINAMIKA. Program STATIKA obezbedjuje formiranje matrice krutosti za konačne elemente oblika trougaone ljuske i za ukupni statički model nosećeg elementa i izračunavanje pomeraja numerisanih tačaka i statičke krutosti nosećeg elementa. Program DINAMIKA omogućava izračunavanje geometrijskih karakteristika dinamičkog modela nosećeg elementa (dužine, aksijalnog i polarnog momenta inercije poprečnog preseka i koncentrisane mase dinamičkog modela sastavljenog od konačnih elemenata oblika grede) i izračunavanje sopstvenih frekvencija i glavnih oblika oscilovanja. **Treću celinu** sačinjavaju datoteke medjurezultata i datoteka izlaznih rezultata. Variranjem dimenzija  $a, b, \alpha$  i  $\beta$  (sl. 6d) dobijaju se različiti oblici poprečnog preseka postolja, a nakon računarske obrade kroz programe STATIKA i DINAMIKA može se zaključiti koji presek je najpovoljniji sa stanovišta minimalnog pomeranja težišta preseka, odnosno što više prve sopstvene frekvencije oscilovanja.



Sl. 6 Proračunski model postolja struga (a- statički model, b- segment, c- diskretizacija modela konačnim elementima, d- model osnovnog oblika poprečnog preseka postolja)

Fig.6 Calculating model of the lathe bed (a- static model, b- segment, c- model discretizing with the finite elements d- model of the basic shape of the bed cross-section)

### 3.3 Programski paket za automatizovano projektovanje zupčanika -ZUPCAN [7],[3]

U prenosnoj strukturi mašine alatke zupčasti prenosnici zauzimaju posebno mesto. Pri tome je zastupljenost cilindričnih evolventnih zupčanika sa pravim zubima dominantna, dok se kod većih opterećenja i fiksnih prenosnih parova koriste i cilindrični zupčanici sa kosim zubima. Zbog toga je, u ovoj fazi razvoja, razvijen programski paket za proračun zupčastih parova sa pravim i kosim zubima. Procesor sačinjavaju četiri modula: GEPROR - proračun geometrijskih veličina; PRENOS- proračun prenosne moći; OPTIM- optimizacija i IZLAZ - definisanje vrste i oblika izlaznih rezultata.

Modul GEPROR je formiran tako da može da funkcioniše odvojeno ili zajedno sa proračunom prenosne moći. Ulazni podaci se unose putem terminala i u automatskom odvijanju procesa izračunavaju se svi podaci vezani za geometrijske veličine zupčanika. Modul PRENOS je koncipiran tako da na osnovu izlaznih rezultata iz modula GEPROR i dopune operativne datoteke ULAZPO podacima vezanim za opterećenje omogućava izračunavanje stepena sigurnosti. Računarski tok se odvija na bazi komunikacije korisnik-računar u smislu izbora vrednosti koeficijenta koji se korisniku posredstvom terminala nude. Modul OPTIM u sadašnjoj fazi razvoja omogućava optimizaciju samo na bazi jednakih relativnih brzina klizanja na bokovima zuba zupčanika. IZLAZ predstavlja završni modul programskog paketa. Pored listinga izlaznih rezultata koji se dobijaju u dve varijante zavisno od želje korisnika, omogućeno je i iscrtavanje radioničkog crteža zupčanika.

Na slici 7 prikazani su listinzi izlaznih rezultata iz programskog paketa - ZUPCAN. Sl. 7a prikazuje izlazne rezultate iz modula GEPROR i to u vidu skraćenog listinga gde se prikazuju samo podaci koji se daju na radioničkom crtežu zupčanika,

```

.....
I      I      I      I
I FTM-IPH I PRORACUN CILINDRICNIH I PROGRAM: PRORAC-Z I
I LAMA I ZUPCASTIH PAROVA I RS : ET-168A I
I Novi SadI      I Instal : 01.04.88 I
.....
I      I      I      I
I      I      RADIO: Zeljkovic I
I      I      DATUM: 12.02.93. I
I      I      I      I
I.....I
I PODACI ZA CRTANJE RADIONIČKOG CRTEŽA I
I.....I
I 1. MODUL 2.50000 I
I 2. PRENOSKI ODNOS 1.24324 I
I 3. UGAO KAG. PROF. OSN.ZUPC.LETVE 20.00000 I
I 4. KAP. UGAO PROF. ZUPCA NA KIN.KR. 20.37504 I
I 5. KERNI BROJ ZUBACA ZUPCANIKA 1 5 I
I 6. KERNI BROJ ZUBACA ZUPCANIKA 2 6 I
I 7. PREČNIK PODEMNOG KRUGA 1 92.50000 I
I 8. PREČNIK PODEMNOG KRUGA 2 115.00000 I
I.....I
I 9. PREČNIK PODNOŽNOG KRUGA 1 86.89157 I
I 10. PREČNIK PODNOŽNOG KRUGA 2 169.44630 I
I 11. PREČNIK TEHENSOG KRUGA 1 98.00071 I
I 12. PREČNIK TEHENSOG KRUGA 2 119.99540 I
I 13. FAKTOR POKERANJA PROFILA 1 .10098 I
I 14. FAKTOR POKERANJA PROFILA 2 -.00008 I
I 15. NERA PREKO ZUBACA 1 34.67968 I
I 16. NERA PREKO ZUBACA 2 42.20231 I
.....

```

a)

```

.....
I      I      I      I
I FTM-IPH I PRORACUN CILINDRICNIH I PROGRAM: PRORAC-Z I
I LAMA I ZUPCASTIH PAROVA I RS : ET-168A I
I Novi SadI      I Instal : 01.04.88 I
.....
I      I      I      I
I      I      RADIO: Zeljkovic I
I      I      DATUM: 12.02.93. I
I      I      I      I
I.....I
I STEPEN SIGURN. NA SAVIJANJE 1 ESB1= 1.241 I
I STEPEN SIGURN. NA SAVIJANJE 2 ESB2= 1.266 I
I STEPEN SIGURN. NA POVRS.PRIT. ESB1= 1.177 I
I STEPEN SIGURN. NA POVRS.PRIT. ESB2= 1.260 I
I STEPEN SIGURN. NA HABANJE ESF= 8.298 I
.....

```

b)

Sl. 7 Primeri rezultata iz modula za proračun geometrijskih veličina (a) i modula za proračun prenosne moći (b)

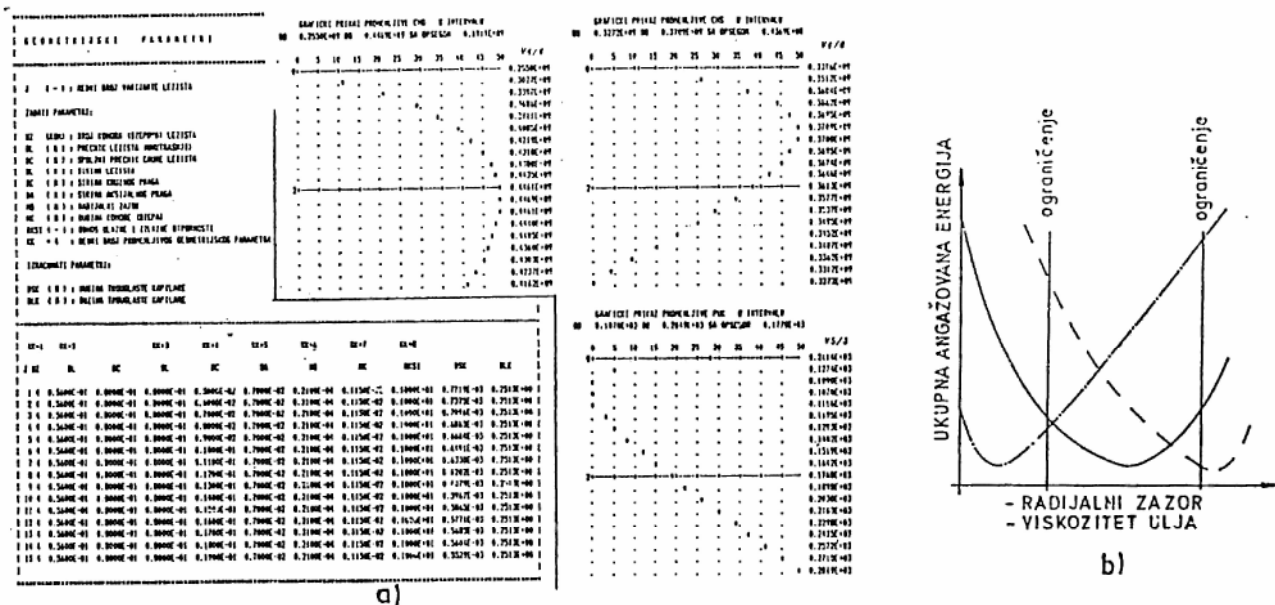
Fig.7 Example of the output results from the module for the geometric values calculating (a) and module for factor of safety calculating

a sl.7b prikazuje rezultate proračuna iz modula PRENOS takodje u skraćenom obliku (samo se prikazuju vrednosti stepena sigurnosti).

### 3.4 Programski sistem za automatizovani proračun i analizu ponašanja hidrostatičkog uležištenja - RADHIL [8], [9]

Polazeći od sopstevnih eksperimentalnih rezultata o ponašanju hidrostatičkog uležištenja glavnih vretena i od poznatih matematičkih zavisnosti vezanih za strujanje fluida kroz uske procepe, u prvoj fazi razvoja programskog sistema cilj je bio stvaranje adekvatnog matematičkog modela proračuna. Pri tome je vodjeno računa o mogućnosti pojave raznih zahteva u vezi sa ponašanjem projektovane konstrukcije, kao i mogućnosti njene realizacije u industrijskim uslovima. Sam proračun bazira na određivanju performansi konstrukcije (karakteristika ponašanja) hidrostatičkog radijalnog ležišta sa kapilarnim prigušnicima, bez žljebova između pojedinih džepova, za poznate geometrijske parametre (dimenzije), kao i poznate radne parametre (uslove pri eksploataciji). Proračun je koncipiran tako da su prisutne dve osnovne grane u toku programa. Prva grana bazira na principima modularne konstrukcije, te su za ulazne podatke predviđeni konstrukcioni parametri kao faktori pojedinih dimenzija u odnosu na modul - prečnik. Druga grana omogućava slobodno variranje kako geometrijskih parametara tako i radnih.

U drugoj fazi razvoja programskog sistema omogućeno je zadavanje pojedinih ograničenja, čime je obezbeđeno automatsko eliminisanje neprihvatljivih varijanti i nepogodnih rešenja, što je u prvoj fazi razvoja bilo prepušteno projektantu, kao i konačan izbor najpovoljnije varijante. U cilju automatskog pronalaženja jedinstvenog rešenja bilo je neophodno definisati kriterijum na osnovu kog bi se vršila selekcija. Kao osnovni kriterijum izbora usvojen je minimum angažovane energije, tako da projektant zadaje samo granice u kojima će se varirati pojedini parametri i eventualno ograničenja. Na slici 8a prikazani su rezultati prve faze razvoja programskog sistema, a na slici 8b je dat primer izbora kao rezultat druge faze.



Sl.8 Primeri izlaznih rezultata varijantnog (a) i automatizovanog proračuna (b) primenom programskog sistema - RADHIL

Fig.8 Output results of the variant (a) and automatic (b) calculating realized by the RADHIL software system

#### 4.0 ZAVRŠNI OSVRT

Rezultate izložene u radu moguće je posmatrati sa dva aspekta. Prvi je vezan za opštost problematike proračuna elemenata mašina alatki, gde je pokušano da se uoče (definišu) najznačajniji elementi kao i metode za analizu njihovog ponašanja. Iako u radu nije posebno naglašeno veći deo programskih sistema univerzalne namene autori su takodje koristili upravo za analizu ponašanja nekih od prikazanih vitalnih elemenata. Drugi deo prikazanih rezultata je vezan za programske pakete specifične namene za analizu konkretnih vitalnih elemenata. Ovakva orijentacija je rezultat u velikom delu, eksperimentalnih rezultata kao jedne od osnova za definisanje ugradjenih matematičkih modela u razvijene programske pakete i sisteme. Dalji rad u ovoj problematici je usmeren sa jedne strane na razvoj programskih paketa za ostale vitalne elemente, a sa druge na poboljšanje ugradjenih matematičkih modela na bazi produbljenih istraživanja u vezi sa nekim od prikazanih programskih rešenja.

#### 5.0 LITERATURA

- [1] BATHE, K.J., WILSON, E.L., PETERSON, F.E.: SAP IV - A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems, University of California, Berkeley, California, 1974.
- [2] FENNER, R.T.: Finite Element Methods for Engineers, Imperial College of Science and Technology, London, 1975.
- [3] ZELJKOVIĆ, M., GATALO, R., REKECKI, J., MILOŠEVIĆ, V.: Primena SAPOR-P programskog sistema za automatsko modeliranje i proračun aksijalnih struktura, 3. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM - XVI JUPITER konferencija, Zbornik radova, Cavtat, 1990.
- [4] ZELJKOVIĆ, M., NAVALUŠIĆ, S., NOVAKOVIĆ, D., GATALO, R.: Automatizovani proračun i projektovanje vitalnih elemenata mehaničkih prenosnika, Treći Severov simpozijum o mehaničkim prenosnicima, Zbornik radova, Subotica, 1991.
- [5] KOVAČEVIĆ, S., GATALO, R.: Programski sistem za identifikaciju statičkog i dinamičkog ponašanja prizmatičnih nosećih elemenata mašina alatki za obradu rezanjem, 1. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM - XIV JUPITER konferencija, Zbornik radova, Cavtat, 1988.
- [6] KOVAČEVIĆ, S., GATALO, R.: Primena programskog sistema NOSEL za analizu statičkog i dinamičkog ponašanja postolja struga, 2. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM - XV JUPITER konferencija, Zbornik radova, Cavtat, 1989.
- [7] NOVAKOVIĆ, D., GATALO, R., REKECKI, J., NAVALUŠIĆ, S.: Prilog razvoju programskog sistema za automatizovano projektovanje zupčanika, Znanstveno-stručni skup o konstruisanja, Zbornik radova, Zagreb, 1988.
- [8] BOROJEV, LJ., GATALO, R., REKECKI, J.: Modeliranje ponašanja hidrostatičkog uležištenja sa aspekta mogućnosti njegove automatizacije, Deseto međunarodno savetovanje BIAM '90, Zbornik radova, Zagreb, 1990.
- [9] BOROJEV, LJ., NAVALUŠIĆ, S., REKECKI, J., GATALO, R.: System for automatic design of hydrostatic bearings for machine tool spindles, 2. International symposium - DAAAM FLEXIBLE AUTOMATION, Zbornik radova, Vysoke Tatry-Štrbske Pleso, ČSFR, 1991.